CRISTALOQUIMICA E MINERALOGÊNESE EM OLIVINAS MAGMÁTICAS DA ILHA DAS FLORES, ARQUIPÉLAGO DOS AÇORES - PORTUGAL

Diogo Gabriel Sperandio [1]

Joao Pedro de Jesus Santana [2]

Cristiane Heredia Gomes [3]

Resumo:

Apresenta-se neste trabalho uma discussão acerca de processos ígneos e cristaloquímica petrogenética de olivinas da Ilha das Flores - Arquipélago dos Açores, Portugal no que tange a texturas e estruturas mineralógicas. Sabe-se que o estudo de texturas e estruturas em olivinas, e também as demais características destes minerais, são peças-chave para a compreensão da dinâmica mantélica e sua estrutura geotermal. Smyth et. al. (2006) destaca que a olivina é a fase mineral mais abundante no manto superior na grande maioria dos modelos geológicos aceitos. No entanto, a morfologia de uma olivina é controlada por inúmeros fatores seja por variações na razão Fe/Mg, grau de fusão do liquido magmático que a formou, nucleação e reações cristal-núcleo, condições de Pressão/Temperatura, taxa de resfriamento e tantos outros. Para o reconhecimento destas texturas e estruturas, foram realizadas análises petrográficas utilizando microscópio de luz transmitida e tratamento de imagens no software ImageJ versão Fiji. As imagens tratadas no software foram obtidas por meio de Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV e Difração de Raios-X com energia dispersiva - EDX no Centro de Microscopia Eletrônica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS e na Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA Gerou-se as imagens que seriam tratadas no software ImageJ com um detector de elétrons retro-espalhados (backscatter electrons detector), para que deste modo, os níveis de escala de cinza da imagem fossem proporcionais ao peso atômico médio dos elementos excitados pelo feixe de elétrons durante a varredura.O estudo de texturas e estruturas a partir do software ImageJ na sua versão Fiji permitiu um aprofundamento na compreensão dos processos petrogenéticos que deram origem a tais feições nas olivinas. Notadamente demarcando com precisão as bordas férricas e os núcleos magnesianos das olivinas, criando gráficos de superfície sob o mineral. Ainda realizou-se a análise física de partículas obtendo, também com precisão, dados como área, circularidade, contagem, perímetro, tamanho médio - parâmetros que mostram-se extremamente aplicáveis em diversas outras áreas das geociências, e principalmente no estudo de texturas, estruturas em minerais.

Palavras-chave: Olivinas; Cristaloquímica; Mineralogênese; Arquipélago dos Açores; Processos Ígneos

Modalidade de Participação: Iniciação Científica

CRISTALOQUIMICA E MINERALOGÊNESE EM OLIVINAS MAGMÁTICAS DA ILHA DAS FLORES, ARQUIPÉLAGO DOS AÇORES - PORTUGAL

[1] Aluno de graduação. gabrielspe@gmail.com. Autor principal

[2] Graduação. santanapjoao@gmail.com. Co-autor

[3] Docente. cristianegomes@unipampa.edu.br. Orientador

CRISTALOQUÍMICA E MINERALOGÊNESE EM OLIVINAS MAGMÁTICAS DA ILHA DAS FLORES, ARQUIPÉLAGO DOS AÇORES – PORTUGAL: DISCUSSÃO SOBRE APLICAÇÃO DO IMAGEJ AO ESTUDO DE TEXTURAS E ESTRUTURAS

1 INTRODUÇÃO

As Olivinas são nesossilicatos de magnésio e ferro com estrutura constituída ligações cruzadas de tetraedros de SiO_4 independentes ligados entre si por octaedros de ferro e magnésio paralelos a {100}. Elas formam uma série isomórfica entre dois extremos estabelecidos pela Forsterita (Mg_2SiO_4) e pela Faialita (Fe_2SiO_4), olivinas magnesiana e férrica respectivamente, existindo uma completa série sólida entre estes dois *end-members.* Além destes dois membros extremos, Forsterita (Fo_{90-100}) - Faialita (Fa_{100-90}), ocorre uma ligação, mais rara, entre a Monticellita ($CaMgSiO_4$) até a Kirschsteinita ($CaFe^{2+}SiO_4$). Conforme destacado por Klein & Dutrow (2012) pouca ou nenhuma solução sólida existe entre a Monticellita e a Kirschteinita, no entanto, o Mn^{+2} pode vir a substituir o Fe^{+2}, formando assim outra série relativamente rara, entre a Faialita e a Tefroíta (Mn_2SiO_4). Deste modo, temos que a fórmula geral para as olivinas é dada por:

$\mathbf{X_2SiO_4}$ onde temos que: X = Mg, Fe2+, Mn, Ca, Ni, Cr, Ti

Estes membros da Forsterita-Faialita são comuns em rochas ígneas de alta temperatura, máficas e ultramáficas ou em menor proporção em rochas metamórficas. Em processos ígneos são dados como o produto primário da cristalização fracionada coexistindo com plagioclásios e piroxênios. Apresentando em sua curva de estabilidade mineral temperaturas entre 1890ºC e 1205ºC, conforme demonstrado no diagrama de fases abaixo (Figura 1), a série continua inicia com a cristalização dos membros magnesianos (Forsterita) e são progressivamente enriquecidos, por processos de cristalização fracionada, em ferro formando assim a Faialita em P/T relativamente menores. As características reológicas das olivinas sobrexcedem pressões de 0,3 a 15 GPa, concomitante a profundidades de 400km (Hushur et al. 2009, Katsura et al. 2009, Woodland et. al. 2012, Ford et al. 1983)

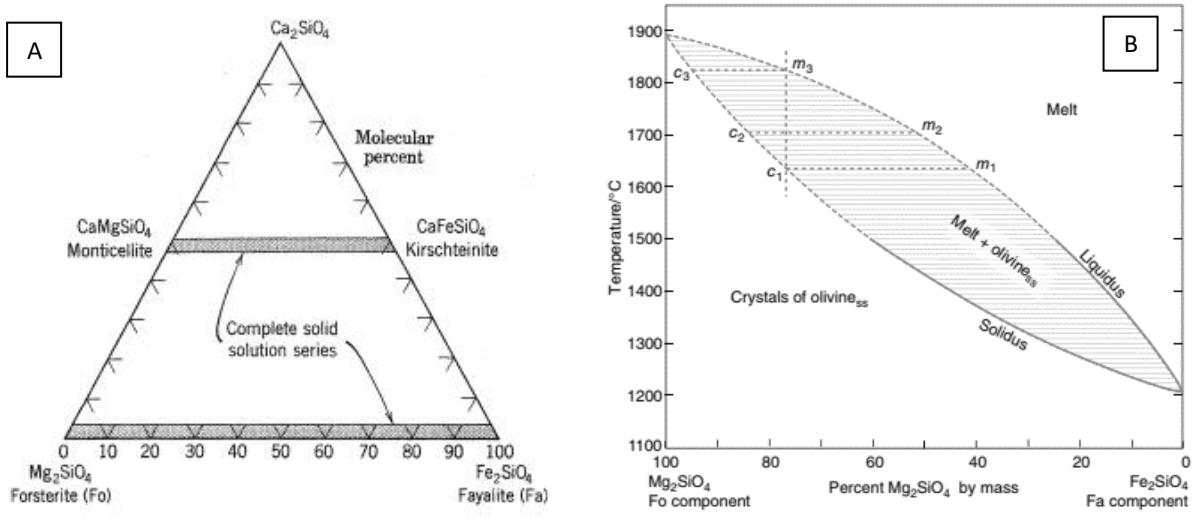


Figura 1 – A) Composição das olivinas no sistema Ca_2SiO_2-Mg_2SiO_4-Fe_2SiO_4 (Klein & Dutrow, 2001); B) Diagrama composição-temperatura do sistema Mg_2SiO_4-Fe_2SiO_4 indicando as relações de fusão da olivina em pressão de uma atmosfera (1atm), o contorno tracejado indica valores interpolados (Gill, 2015).

Smyth et. al. (2006) destaca que a olivina é a fase mineral mais abundante no manto superior na grande maioria dos modelos geológicos aceitos. Desta maneira, o estudo de texturas e estruturas em olivinas são peças-chave para a compreensão da dinâmica mantélica e sua estrutura geotermal. Para tanto, é necessário conhecer as características cristaloquímicas do

mineral bem como o ambiente geoquímico do manto superior. Demange (2012) demonstra que o sistema Mg2SiO4–SiO2 apresenta um ponto peritético em 1560 °C com a reação entre olivina e o liquido (fusão) para a formação da enstatita sob pressão de 1atm. O sistema Fe_2SiO_4–SiO_2 tem seu ponto eutético a 1177 ° C. Destaca-se aqui, portanto, a incompatibilidade da forsterita com o quartzo (SiO_2) enquanto que a fayalita é. Demange (2012) ainda destaca que para temperaturas mais baixas, a estabilidade da olivina é limitada pela aparência de fases hidratadas, sendo a formação dessas fases controlada não só pela temperatura, mas pelas fugacidades de H_2O e CO_2 e a química potencial do SiO_2. Cabe aqui destacar, a transformação olivina-piroxênio, dada pela equação $Mg_2SiO_4 + SiO_2 = 2MgSiO_3$ (Forsterita (Olivina) + SiO_2 (quartzo) = Enstatita (Piroxênio)) ocorrente em ambientes ricos em SiO_2. Assim, a morfologia de uma olivina é controlada por inúmeros fatores seja por variações na razão Fe/Mg, grau de fusão do liquido magmático que a formou, nucleação e reações cristal-núcleo, condições de Pressão/Temperatura, taxa de resfriamento e tantos outros fatores.

Havendo exposto as premissas iniciais que tangem os processos fisico-químicos nas gênese das olivinas e que por isto determinam os seus aspectos texturais e cristaloquímicos, discute-se neste momento a utilização do software Imagej para o reconhecimento destas feições outrora discutidas. O software ImageJ é um programa de domínio público desenvolvido na linguagem Java pelos Institutos Nacionais de Saúde (NIH, na sigla em inglês) dos EUA. Ele é destinado ao processamento de imagens e possibilita a exibição, edição, análise, tratamento em 8 bits, 16 bits e 32 bits. Neste trabalho utilizamos sua versão Fiji para o tratamento das imagens obtidas ao MEV a fim de destacar feições de interesse nas olivinas e assim promover a discussão da utilização do software para o estudo de processos cristaloquímicos e magmáticos entorno da gênese destes minerais.

2 METODOLOGIA

No presente trabalho foram utilizadas olivinas provenientes de olivina-basaltos da Ilha das Flores, localizada no Arquipélago dos Açores, Portugal. Foram realizadas análises petrográficas utilizando microscópio de luz transmitida e tratamento de imagens no software ImageJ versão Fiji. As imagens tratadas no software foram obtidas por meio de Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV e Difração de Raios-X com energia dispersiva – EDX no Centro de Microscopia Eletrônica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS e na Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA

Gerou-se as imagens que seriam tratadas no ImageJ com um detector de elétrons retro-espalhados (*backscatter electrons detector),* para que deste modo, os níveis de escala de cinza da imagem fossem proporcionais ao peso atômico médio dos elementos excitados pelo feixe de elétrons durante a varredura.

3 RESULTADOS e DISCUSSÃO

A petrografia das olivinas estudadas neste trabalho, revelada na figura 2a-b, indica olivina mostrando o núcleo rico em Mg e borda com sobrecrescimento rico em Fe (fig. 2a) e ainda, uma olivina reliquiar rica em Mg mostrando o estágio mais avançado da dissolução com aumento do tamanho dos poros (fig. 2b).

É claramente observável o zoneamento químico existente nos grãos minerais mostrados na figura 2, indicando um sobrecrescimento excessivo de Fe nas fases finais da cristalização do mineral. Em geral temos um núcleo rico em Mg (Fo_{18-50}) que sempre está contornada por um crescimento excessivo em Fe (Fo_{19-66}).

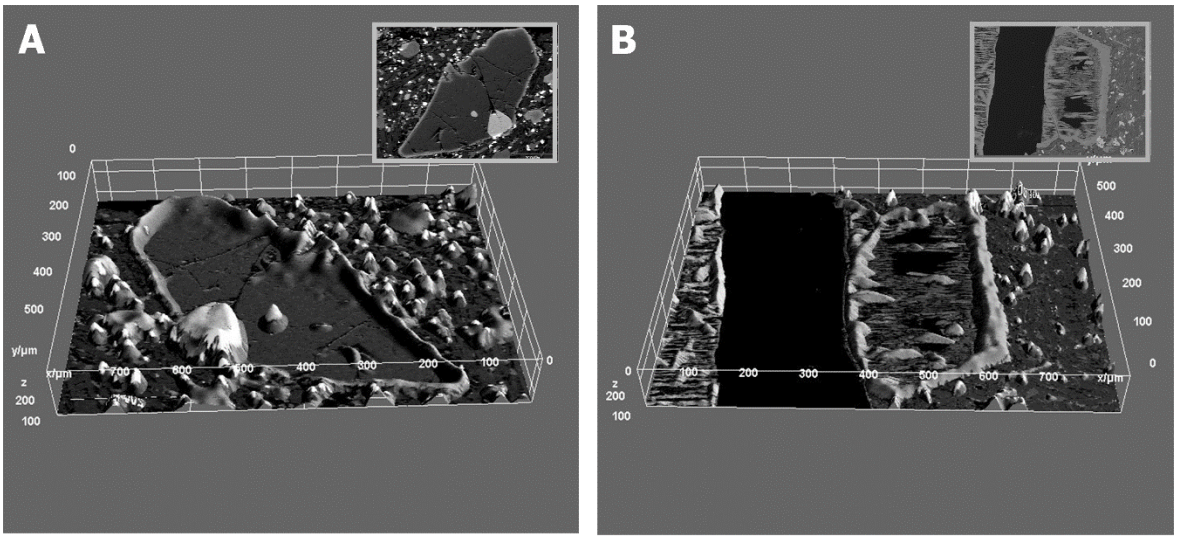


Figura 2 – Imagens de eletrons retro-espalhados obtidas junto ao microcroscópio eletrônico de varreudura tratadas no software ImageJ para obtenção dos gráficos de superfície. A) Olivinia proveniente da Ilha das Flores com núcleo rico em Mg e borda rica em Fe. Evidente destaque, dado pela sobresaliência, da porção férrica (Fe) da olivina nas extremidades do mineral. A imagem no canto superior direito é a imagem no detector de elétrons retro-espalhados no MEV. B) Olivina reliquiar da ilha Flores rica em poros e Mg. Nota-se as porções mais férricas dada pelo relevo destacado com o auxilo do software;

O ImageJ foi utilizado para destacar as feições que as imagens de elétrons retro-espalhados obtidas ao microscópio eletrônico de varredura tinham indicado – cabe salientar que, conforme discutimos na metodologia, os níveis de cinza representam o peso atômico médio dos elementos excitados pelo feixe de elétrons durante a varredura. A figura 2 (acima) mostra os gráficos de superfície obtidos com o auxílio do software. A ferramenta disponibiliza um gráfico tridimensional o qual é baseado em seções retangulares feitas previamente, ou por vezes, a imagem toda, e também baseado nas intensidades de pixels de cada uma das imagens dos minerais, estas já em escala de cinza. A luminância da imagem é interpretada pelo software como altura (eixo z) para o gráfico. Internamente, a mesma é redimensionada para uma imagem quadrada usando amostragem do vizinho mais próximo *(nearest neighbor sampling).*

A figura 3 (abaixo) é o resultado da análise das particulas realizada, também, no mesmo software. Este tipo de análise é capaz de mensurar o tamanho das particulas, neste caso, grãos de olivina ao MEV. Para isto, utiliza-se do *threshold*, ferramenta capaz de segmentar as imagens em escala cinza definindo interativamente os valores de limites inferior e limites superior. O software delinea o objeto a ser medido apartir de sua borda, criando uma seleção que é capaz de restrear as feições/objetos de cor uniforme ou feições/objetos com limite. Este delineamento é dado a partir de uma determinda tolerância, ou mesmo nenhuma tolerância. Neste trabalho, a tolerância dada ao software para o delinemento dos minerais foi de 4. Isto implica que cada pixel da imagem em estudo é considerado como tendo quatro vizinhos consideráveis para a cálculo da tolerância.

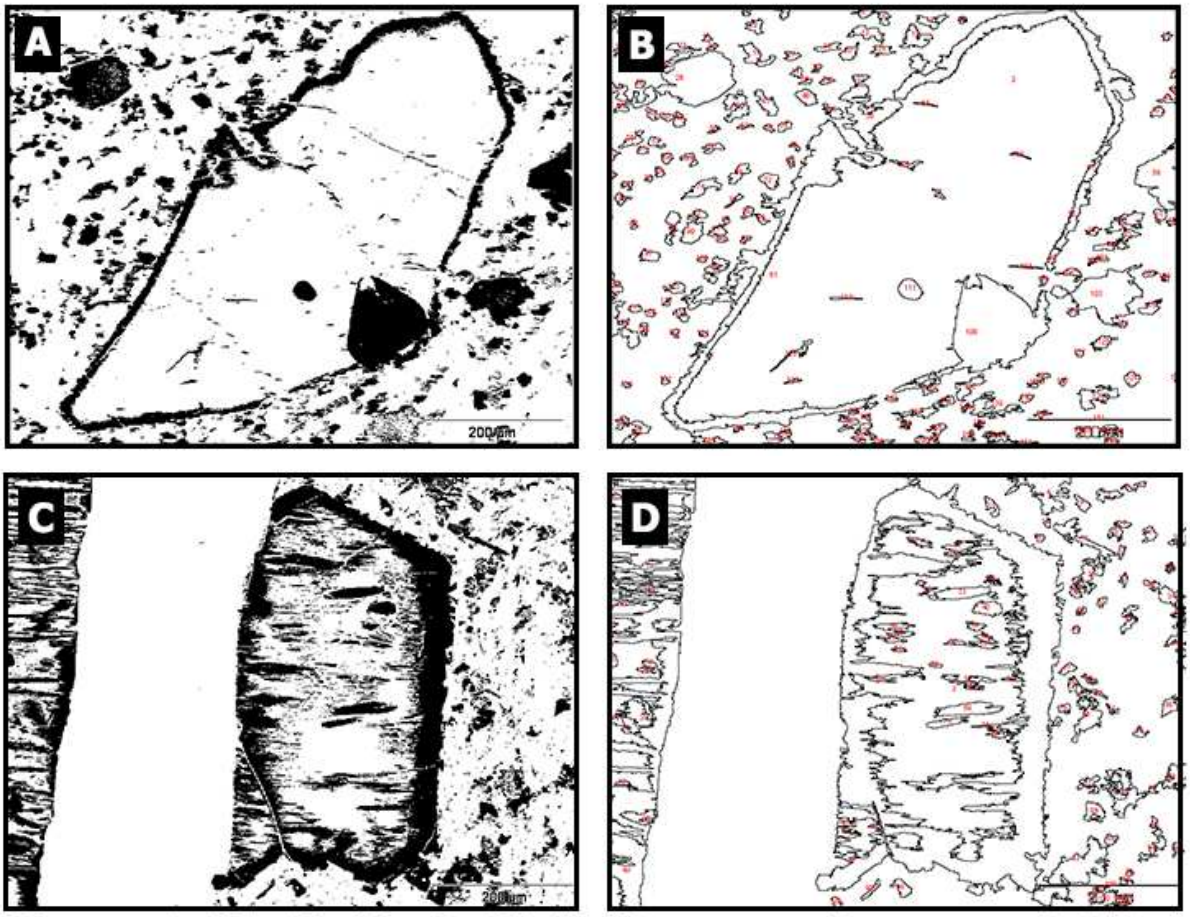


Figura 3 – Análise de particulas realizada com o software ImageJ a partir das imagens MEV. A-C) Os quadros A e C, são as respectivas figuras (mostradas na figura 2) transformadas em imagens binárias a partir do *threshold* segmentadas em escala de cinza com os valores de limite inferior e superior definidos interativamente. B-D) Figuras indicando as imagens processadas para análise de particulas, os pontos vermelhos indicam a própria particula identificada

A área dos minerais foi dada em unidades micrométricas quadradas (µm²) a partir da prévia calibração do software para este fim. Por outro lado, para efeito de cálculos, assumimos a circularidade como sendo o descrito na equação a seguir:

$$\text{Circularidade} = 4\,\pi \times [\text{área}] \times [\text{perímetro}]$$

Deste modo, temos valores de limite superior em 1 (um) e limite inferior em 0 (zero). Obviamente temos que o valor igual a um é um círculo perfeito, e os minerais com valores próximos a zero tendo uma forma cada vez mais alongada à medida desta aproximação.

O Perímetro dos minerais, exposto na tabela 1, é uma função dada pela soma do limite externo da seleção dos mesmos. Os limites externos analisados nas olivinas são fácilmente observados nas figuras 3-B e D

Tabela 1 - Resultado da análise de partículas do ImageJ a partir das imagens de MEV convertidas para imagens binárias (figura 8)

Figura	Contagem	Área Total (µm²)	Tamanho Médio (µm)	Área (%)	Perímetro (µm)
B (Fig. 3B)	142	91.433.483	643.898	18.202	169.766
D (Fig. 3D)	125	443.680.534	3.549.444	29.191	573.809

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo de texturas e estruturas a partir do software ImageJ na sua versão Fiji permitiu um aprofundamento na compreensão dos processos petrogenéticos que deram origem a tais feições nas olivinas. Notadamente demarcando com precisão as bordas férricas e os núcleos magnesianos das olivinas, criando gráficos de superfície sob o mineral. Ainda realizou-se a análise física de partículas obtendo, também com precisão, dados como área, circularidade, contagem, perímetro, tamanho médio – parâmetros que mostram-se extremamente aplicáveis, por exemplo, na petrologia sedimentar, no que tange à análise granulométrica.

Inicialmente desenvolvido para aplicações na área de saúde pública e exames laboratoriais aplicáveis a seres vivos (animais, plantas e etc), o software ImageJ tem se mostrado substancialmente adequado e eficaz no estudo em geociências, principalmente no que tange à mineralogia, conforme demonstramos neste trabalho.

Sendo o software um programa de arquitetura aberta, baseado em linguagem Java, propõe-se que há espaço na pesquisa geocientífica para a expansão deste software por meio de plugins e macros a fim de, deste modo, desenvolver uma nova demarcação no estudo petrogenético e cristaloquímico.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul pelo apoio à realização do presente trabalho (edital 189/2017 FAPERGS/UNIPAMPA e edital 187/2018/FAPERGS/UNIPAMPA), a Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação – PROPPI 03/2018- INOVAUNIPAMPA bem como, ao Núcleo de Datação por Traços de Fissão do Campus Caçapava do Sul da Universidade Federal do Pampa pela possibilidade de realizar a pesquisa.

REFERÊNCIAS

Demange, M. A. (2012). **Mineralogy for Petrologists: Optics, Chemistry and Occurrences of Rock-Forming Minerals**. CRC Press.

Ford, C. E., Russell, D. G., Craven, J. A., & Fisk, M. R. (1983). Olivine-liquid equilibria: temperature, pressure and composition dependence of the crystal/liquid cation partition coefficients for Mg, Fe2+, Ca and Mn. **Journal of Petrology**, 24(3), 256-266.

Gill, R. **Chemical fundamentals of geology and environmental geoscience**. John Wiley & Sons, 2014.

Hushur, A., Manghnani, M. H., Smyth, J. R., Nestola, F., & Frost, D. J. (2009). Crystal chemistry of hydrous forsterite and its vibrational properties up to 41 GPa. **American Mineralogist**, 94(5-6), 751-760.

Klein, C. **The 22nd edition of the Manual of mineral science**. 2001. John Wiley & Sons Inc. New York. 716 p.

Klein, C. Dutrow, B. **The 23nd edition of the Manual of mineral science**. 2012. John Wiley & Sons Inc. New York. 716 p.

Ogino, H., Matsumura, Y., Katsura, Y., Ushiyama, K., Horii, S., Kishio, K., & Shimoyama, J. I. (2009). Superconductivity at 17 K in (Fe2P2)(Sr4Sc2O6): a new superconducting layered pnictide oxide with a thick perovskite oxide layer. **Superconductor Science and Technology**, 22(7), 075008.

Smyth, J. R. et al. Olivine hydration in the deep upper mantle: Effects of temperature and silica activity. **Geophysical Research Letters**, v. 33, n. 15, 2006.

Woodland, A. B., Frost, D. J., Trots, D. M., Klimm, K., & Mezouar, M. (2012). In situ observation of the breakdown of magnetite (Fe3O4) to Fe4O5 and hematite at high pressures and temperatures. **American Mineralogist**, 97(10), 1808-1811.